

Jules BATLOGG
Adrien BERNICOT
Louis GRATRAUD
Noah LAJNEF
Maxime MILLOT
Yaminn WAHEDI

Ai scan



PRIX DE L'INGENIERIE DU FUTUR

estp

CONSTRUCTEURS D'UN NOUVEAU MONDE

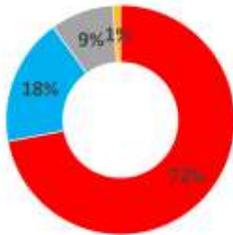


**SYNTEC
INGÉNIERIE**

LA PRODUCTION DE DÉCHETS DU BTP

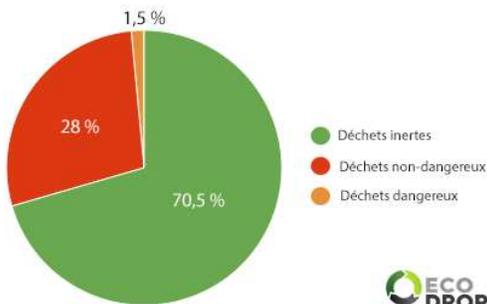
Les déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics représentent une part significative des déchets produits en France, avec environ **227,5 millions de tonnes générées chaque année**. Ce volume impressionnant constitue plus de **70% de la production totale de déchets du pays**, mettant en lumière l'importance cruciale de la gestion et du traitement de ces matériaux.

■ Secteur du BTP ■ Autres activités économiques ■ Ménages ■ Collectivités



Doc1 : Production de déchets en France

Les déchets du BTP incluent une diversité de matériaux issus des activités de **construction**, de **rénovation** et de **démolition**. Les **déchets inertes** (briques, béton, tuiles, verre, terre, pierres) sont les plus majoritaires et constituent **70,5% des déchets totaux**.

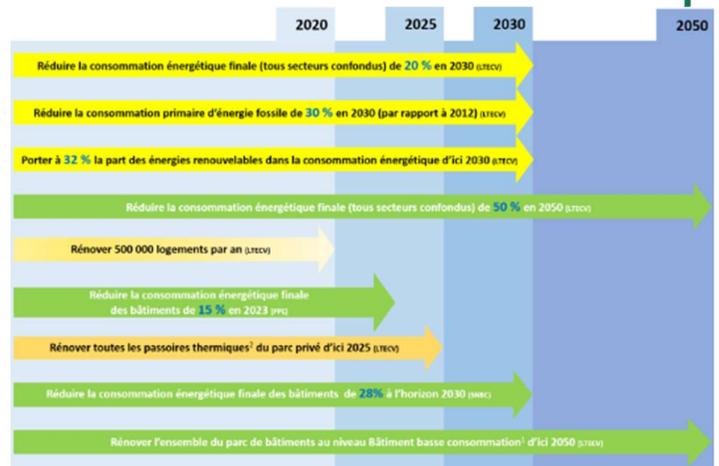


Doc2 : Répartition des déchets du secteur du bâtiment

Ces déchets inertes constituent une **source précieuse** de matières premières à valoriser et contribuent significativement à la **protection de l'environnement**. En effet, leur **réemploi** permet de **préserver les ressources épuisables** des carrières et de **réduire les impacts environnementaux associés**.

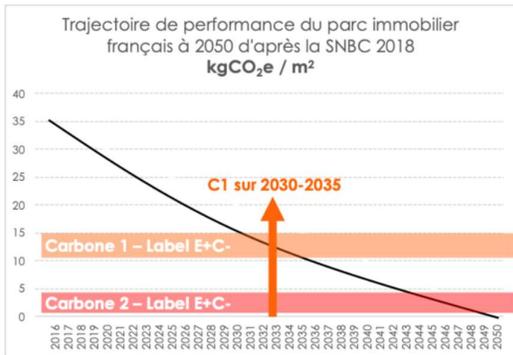
DES OBJECTIFS AMBITIEUX

La gestion inadéquate de ces déchets peut entraîner des impacts environnementaux importants, tels que la **pollution des sols et des eaux**, ainsi que des risques pour la santé publique. En réponse, la France a instauré des **réglementations et politiques publiques strictes** visant à **réduire l'impact environnemental des déchets du BTP**. Par exemple la Loi relative à la Transition Énergétique et la Croissance Verte (LTECV) ainsi que la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), fixent des objectifs de rénovation très élevés : **500 000 rénovations par an** avec une priorité pour les passoires thermiques, des logements très énergivores du fait d'une mauvaise isolation thermique.



Doc3 : Plan de rénovation énergétique des bâtiments

Ainsi, la LTECV et la SNBC visent à atteindre le **zéro émission nette (ZEN)** pour l'ensemble du parc immobilier français **d'ici 2050**.



Doc4 : Trajectoire de performance du parc immobilier à 2050 d'après la SNBC 2018

AI SCAN POUR RÉGLER CES PROBLÉMATIQUES ?

Ai scan consiste à créer une **nouvelle isolation extérieure** semblable à une seconde peau, à partir de **déchets inertes (gravats)** du BTP, le tout grâce à **l'intelligence artificielle**.

Cette solution répond parfaitement aux **problématiques** évoquées précédemment et est en phase avec les **objectifs visés**. En effet, **Ai scan** revalorise les **déchets du BTP** en les utilisant comme **matériaux de réemploi** et a pour but, en isolant les **passoires thermiques**, de réduire leur **consommation énergétique** et donc de diminuer les **émissions de CO2**.

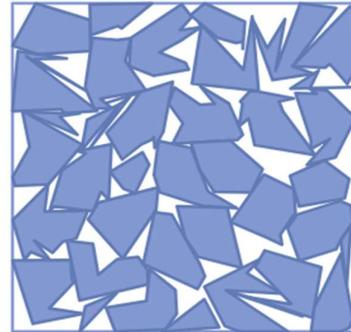
DE L'AIR POUR ISOLER

Jesús Nvé MITOGO ESENG a réalisé une thèse sur la **quantification expérimentale des performances** d'un **dispositif de bardage** doté d'une **lame d'air tampon** et d'un **parement en bois**. Les résultats montrent qu'une **lame d'air mince** est généralement **suffisante** pour les **murs en béton**. Cette lame d'air agit comme une **barrière** contre les **transferts de chaleur**, grâce à la **convection naturelle** qui se produit à l'intérieur.

QUEL EST LE PROCESSUS ?

Le **processus de création** se déroule dans une **usine mobile** installée sur le site d'un **chantier de démolition**. Tout d'abord, une **première intelligence artificielle (IA)** trie les **déchets** en

fonction de leur **nature** et scanne la **forme des gravats**. Ensuite, une seconde IA utilise ces **données** comme **des pièces de puzzle** pour concevoir le **calepinage des plaques de 1 m²**.



Doc5 : Maquettage de plaque Ai scan

Ces plaques sont ensuite **réalisées** par des **ouvriers** puis **transportées** sur le **chantier de rénovation**. Une **lame d'air** de 12cm **hermétique** et **imperméable** sera utilisé comme **isolant**.

LES INTELLIGENCES ARTIFICIELLES

1 La première **IA** utilisée s'inspire de celle développée par un groupe de chercheurs de **l'Université de La Rochelle**. Ils ont conçu une **IA** pour **l'analyse d'images** à l'aide de **réseaux de neurones profonds (RNP)**, spécifiquement pour déterminer la **composition des granulats recyclés**. Le **RNP** atteint une **précision de classification** supérieure à **95 %**.

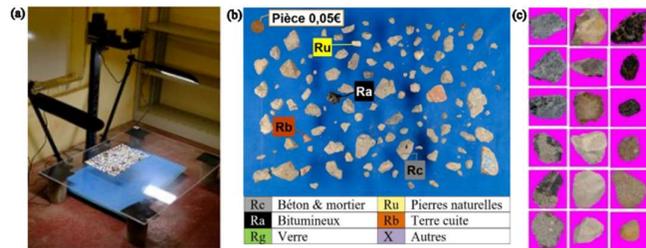


Figure 1 (a) : Dispositif d'acquisition des photos (b) : Exemple d'une photo de GR (c) : Extrait de la base de données

2 Nous avons sollicité un étudiant de l'ENS Lyon pour développer la seconde IA. Pour cette **première version**, nous avons opté pour la **génération de formes aléatoires en 2D**. Plusieurs **paramètres** ont été définis : les **plaques** seront conçues avec un **taux de remplissage en mortier** inférieur à **15 %** afin de réduire la **quantité de ciment** utilisée et

l'**empreinte carbone** du projet. Par ailleurs, les **gravats** devront avoir un **diamètre minimal de 5 cm** pour éviter des **pertes de temps** lors de la **fabrication des plaques**.



CARACTÉRISATION DES PLAQUES

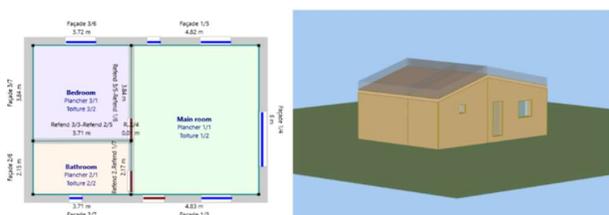
La **caractérisation du produit** sera effectuée sur les **plaques finies** pour évaluer leur **aptitude au montage**. Cette caractérisation est cruciale car elle fournira des informations sur :

- **La flexion**, ce qui permettra de déterminer le **nombre d'ancrages nécessaires** pour chaque plaque.
- **La résistance**, ce qui aidera à définir les **types de chantiers de rénovation** où les plaques pourront être utilisées.

ÉTUDE DE CAS

Pour évaluer la **viabilité** de notre solution, nous avons réalisé une **étude de cas théorique** axée sur deux aspects : **l'énergie grise** et **l'énergie opérationnelle** :

- Maison plan pied (8,54x6x2,5m)
- Altitude : 79m (ESTP)



Nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux d'une **isolation thermique par l'extérieur** « classique », à savoir un **panneau de**

polystyrène expansé graphité (14 cm) associé à un **enduit extérieur en mortier**.

1 Rappelons que l'énergie grise représente l'énergie nécessaire à la **rénovation énergétique** d'un bâtiment, englobant la **fabrication des matériaux** et leur **transport**. Pour cette étude, nous avons consulté la **base INIES** et examiné les **fiches de données environnementales et sanitaires (FDES)**. En ce qui concerne le **ciment bas carbone**, nous avons utilisé le **ciment H-UKR de Hoffmann Green Cement** pour cette analyse.

Matériaux	Energie grise (hors déplacements)	
	Ai scan	ITE classique
Système d'ITE complet sans isolant		1 235,90 kg CO2 eq.
Polystyrène expansé		537,98 kg CO2 eq.
Gravats	0,00 kg CO2 eq.	
Mortier HGC H-UKR	104,69 kg CO2 eq.	
Total	104,69 kg CO2 eq.	1 773,88 kg CO2 eq.

Les **gravats** étant classés comme **déchets** et l'**isolant** étant constitué de l'air emprisonné entre la **paroi Ai Scan** et le **mur porteur**, leur contribution à l'**énergie grise** est nulle. Ainsi, nous obtenons une **énergie grise** près de **17 fois inférieure** à celle d'une **rénovation par isolation thermique par l'extérieur (ITE)** classique.

2 L'énergie opérationnelle désigne l'énergie nécessaire au fonctionnement du bâtiment, notamment pour le **chauffage**, la **ventilation**, la **climatisation (CVC)**, ainsi que pour l'**éclairage** et les **équipements**. Pour cette étude, nous avons uniquement pris en compte le **chauffage**. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel **Pléiades**, en utilisant les **paramètres initiaux** suivants pour la maison :

- Isolation murale : laine de verre (12cm)
- Isolation de toiture : laine de verre(20cm)

Besoins énergétiques après la rénovation	Energie opérationnelle		
	Avant rénovation	Ai scan	ITE classique
Besoins énergétiques	4 687,50 kWh	4 635,70 kWh	4 363,00 kWh
Emissions CO2	234,38 kg CO2 eq.	231,79 kg CO2 eq.	218,15 kg CO2 eq.

- Construit sur vide-sanitaire : polystyrène (6cm)

Dans ces conditions, nous observons que la consommation énergétique de la maison diminue de **4687 kWh/an** à **4635,7 kWh/an**

avec **Ai scan**, ce qui est **5 fois moins efficace** qu'une **ITE classique**. Toutefois, d'un point de vue écologique, cette étude démontre qu'il est possible de rénover une maison de manière **bas carbone** en utilisant les **déchets du BTP**.

3 Pour conclure cette étude, examinons les **émissions de carbone**. Rappelons que le chauffage de la maison étudiée utilise l'**électricité**. Selon les données du **Réseau de Transport d'Électricité (RTE)**, les **émissions de CO2** associées à l'électricité en France étaient d'environ **50 g CO2/kWh** en 2023.

Nous constatons que les solutions (**ITE et Ai scan**) se rapprochent en termes d'**émissions de CO2** après plus de **120 ans**. Nous concluons donc que l'**économie de carbone** lors de la rénovation avec **Ai scan** est considérable. Cependant, notre solution est **moins performante énergétiquement** que celles actuellement disponibles sur le marché.

CHIFFRAGE 1 m² AI SCAN

Afin de présenter une solution viable, nous avons déterminé le **prix d'1 m²** pour Ai scan. Notre objectif lors de cette étude est d'établir le **déboursé sec**, pour cela nous avons commencé par calculer le déboursé horaire main d'œuvre (DHMO).

1 Afin de réaliser une plaque Ai scan nous avons besoin d'un **ouvrier d'exécution de catégorie N1P1**.

Déboursé Horaire Main d'Œuvre Ai scan	
Éléments mensuels à prendre en compte	Catégorie professionnelle
	N1P1
Rappel T.H.B	11,75 €
Éléments soumis aux charges patronales :	
Salaires mensuels	
T.H.B x 151,67 h/mois	1 782,00 €
Trajet	56,07 €
Zone 1A : 3,00€ x 18,69j	
Repas	0,00 €
(9,00 - 10,10€)x18,69j	
Total des éléments assujettis aux charges	1 838,07 €
Charges patronales x 74,10%	1 362,09 €
Éléments exonérés de charges patronales	
Repas	168,21 €
9,00€ x 18,69j	
Transport	86,40 €
Forfait Navigo Annuel : 86,40 €/mois	
Déboursé mensuel	3 454,77 €
Déboursé horaire Ai scan	22,78 €

Nous avons calculé sur une période de **50 ans** le **nombre de jours ouvrés** : en moyenne, il y a **18,69 jours ouvrés/ mois**. Ainsi, nous obtenons un **DHMO de 22.78€**.

2 On réalise le déboursé sec :

Déboursé sec			
Informations sur la plaque			
	Composition		
	Gravats		85,0%
	Mortier		15,0%
Total			100,0%
Composition d'un mortier normalisé (1 m³)			
Matériaux	Masse	Pourcentage	
Sable	1 228,5 kg/m ³ de mortier		66,4%
Ciment	409,5 kg/m ³ de mortier		13,0%
Eau	205,0 kg/m ³ de mortier		20,6%
Total			100,0%
Prix des différents éléments			
Matériaux	Prix par m³	Prix moyen	
Gravats	80,00 €	5,44 €/m ²	
Sable	92,50 €	0,74 €/m ²	
Ciment H-UKR	693,00 €	1,08 €/m ²	
Eau	4,03 €	0,01 €/m ²	
Main d'œuvre	Taux horaire	Prix moyen	
N1P1	22,78 €	20,96 €/m ²	
Matériels	Prix unitaire	Prix moyen	
Transport	-	21,08 €/m ²	
Ancrages	0,50 €	4,00 €/m ²	
Prix de revient Ai scan		53,30 €/m ²	
Prix de revient ITE classique		119,33 €/m ²	

La **composition d'un mortier normalisé** nous a permis de **coefficients** le **prix des matériaux** en fonction de leur **proportion** dans la plaque.

En comparant les 2 produits, nous pouvons voir que le produit **Ai scan est 2 fois moins cher** qu'une **ITE classique** (panneau 14cm).

CONCLUSION

En conclusion, Ai scan est un produit **fonctionnel** mais **pas encore déployé** sur le marché de l'isolation bas carbone. Toutefois, dans le but d'**améliorer** son **efficacité énergétique**, il est possible d'**ajouter un isolant biosourcé** et **bas carbone** comme le **liège expansé** ou la **laine de bois** connus pour résister aux intempéries.

Cette année, nous comptons étudier l'efficacité énergétique d'Ai scan sur d'autres types de logements.

SOURCES

Production des déchets en France (d'après ADEME, chiffres de 2012) :

<https://www.framateq.fr/blog/actualites/recycler-valoriser-dechets-btp>

Répartition des déchets du secteur du bâtiment : <https://www.ecodrop.net/dechets-chantier-mythes-realites-recyclage/>

Plans de rénovation énergétique des bâtiments :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Plan%20de%20r%C3%A9novation%20%C3%A9nerg%C3%A9tique_0.pdf

Trajectoire de performance du parc immobilier à 2050 d'après la SNBC 2018 :

<https://www.carbone4.com/article-batiment-snbc>

De l'air pour isoler : <https://theses.fr/2012BOR14495>

Maquettage de plaque Ai scan : <https://piair.dev/demo/SVGnest/>

Figure 1 : https://www.researchgate.net/profile/Jean-David-Lau-Hiu-Hoong/publication/334063604_Analyse_d'images_par_reseaux_de_neurones_profonds_appliquee_a_la_determination_de_la_composition_de_granulats_recycles/links/5d14d019458515c11cfc6de8/Analyse-dimages-par-reseaux-de-neurones-profonds-appliquee-a-la-determination-de-la-composition-de-granulats-recycles.pdf

Etude énergie grise :

- ITE classique

FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT Systèmes d'enduits StoArmat Classic Plus et StoLevell Uni + primaire StoPrim avec finitions organiques Stolit ou StoSilco, incluant les accessoires de pose (colle, armature de renfort, profilés, chevilles, bande filante...) (à associer à une FDES d'isolant)

Fiche de déclaration environnementale et sanitaire Panneau d'isolation en polystyrène expansé contenant des particules de graphite (accessoires de pose exclus)

- Ai scan

FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT Plancher en béton non ferrailé d'épaisseur 20 cm, C35/45 H-UKR XC1 S5

Emissions CO2 pour 1 kWh d'électricité : <https://analysesetdonnees.rte-france.com/bilan-electrique-2023/emissions#Introduction>

Etude prix :

- Déboursé horaire main d'œuvre

Salaire mensuel N1P1 : SDEL TERTIAIRE

Repas <https://www.l-expert-comptable.com/a/529566-le-panier-repas.html#:~:text=Les%20montants%20de%20cette%20indemnit%C3%A9,sociales%20jusqu'%C3%A0%20ces%20montants.>

Exonération repas : <https://www.editions-tissot.fr/actualite/droit-du-travail/frais-professionnels-des-salaries-du-btp-les-plafonds-d'exoneration-pour-2023>

Transports : <https://www.iledefrance-mobilites.fr/titres-et-tarifs/detail/forfait-navigo-annuel>

Trajet : <https://verticalexpense.com/frais-de-deplacement-btp-regles-indemnites-2024/>

- Déboursé sec

Composition d'un mortier normalisé : Norme NF EN 196-1. Méthodes d'essais des ciments —

Partie 1 : Détermination des résistances. Paragraphe 6.1

Prix ciment H-UKR : Hoffmann Green

Prix gravats : Spie Batignolles

Prix eau : <https://selectra.info/energie/eau/prix#prix-commune>

Prix sable : Colas

Prix isolation extérieure : Batiprix Code: 5642010303009